밀리미터파 탐색기용 Ka 대역 능동 PIN 다이오드 리미터 설계 및 제작

Design and Fabrication of Ka-Band Active PIN Diode Limiter for a Millimeter Wave Seeker

양 승 식 · 임 주 현 · 나 영 진

Seong-Sik Yang · Ju-Hyun Lim · Young-Jin Na

요 약

본 논문에서는 밀리미터파 탐색기의 수신기 보호용으로 사용할 낮은 누설 전력을 가지는 Ka 대역 능동 리미터 설계 및 제작 기법을 설명하였다. 낮은 누설 전력을 구현하기 위해서 송신 펄스 주기 신호와 입력 전력의 크기에 따라 리미터를 제어할 수 있는 능동 리미터 제어 회로를 제안하였다. 능동 리미터는 전형적인 2단 수동 리미터에 방향성 결합기, 검파기, 연산 증폭기 및 과전류 보호용 저항으로 구성된 제한 회로로 구성되어진다. 제작된 Ka 대역 능동 리미터 측정 결과, 주파수 대역은 1 GHz, 약 신호 시 삽입 손실은 3.5 dB 이하, 능동 제어 시 최대 감쇄량 46 dB, 4 W RF 입력 시 정상 누설 전력은 -7.5 dBm을 보였다.

Abstract

In this paper, we explained the design technique about Ka-band active limiter for protecting the receiver of a millimeter wave seeker. To implement low flat leakage power, we proposed the control circuit of active limiter to control limiter voltage with PRF(Pulse Repetition Frequency) signal and input power. This active limiter consisted of the conventional 2 stage passive limiter, a feedback circuit with a directional coupler, detector, non-inverting amplifier and over-current protection resistance. As the test result of the fabricated Ka-band limiter, it had 1 GHz bandwidth, 3.5 dB insertion loss at the small input power and -7.5 dBm flat leakage at the 4 W RF input power, respectively.

Key words : Active Limiter, PIN Diode, Millimeter Wave Receiver, Flat Leakage

I. 서 론

밀리미터파는 30~300 GHz의 주파수를 말하며, 해수면 9,150 m 높이에서의 대기 감쇄 특성은 그림 1과 같다. 먼 거리의 표적을 탐지하는 레이더는 그림 1에 표시한 것과 같이 대기 감쇄가 적게 일어나는 창 영역(Window)의 주파수 대역을 사용한다^[1]. 탐색기는 유도 무기의 RF(Radio Frequency) 센서로 동일 주파수의 안테나 및 송수신기를 가지는 소형 레

이더(radar)이다. 이러한 레이더 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 시스템 특성상 먼 거리의 표적을 탐지하기 위해서 고출력 송신기를 사용하며, 동일한 안테나를 이용하여 표적 신호를 수신한다. 그러나 이와 같은 시스템은 송신기와 안테나의 부정합 때문에 고출력 송신 신호가 안테나에 반사되어 수신기에 들어오며, 순환기의 완벽하지 않은 격리도 때문에 송신 신호의 일부가 수신기에 들어오게 된다^[2]. 이 누설 전력은 안테나의 정합 정도에 따라 보통 송신 전

삼성탈레스(주) 레이더연구소(Radar R&D Center, Samsung Thales)

· 논문 번호 : 20111205-156

· 교신저자 : 양승식(e-mail : ss76.yang@samsung.com)

· 심사일자 : 2012년 1월 13일 · 수정완료일자 : 2012년 2월 13일

그림 1. 밀리미터파의 대기 흡수

Fig. 1. Atmospheric absorption of millimeter waves.

그림 2. 레이더 수신기 보호 회로 구성도

Fig. 2. Block diagram of protecting circuits for radar receiver.

력의 1/10 레벨을 가지며, 민감한 수신기의 손상을 야기한다. 이를 보호하기 위하여 튜브, 페라이트 및 다이오드 등을 이용하여 높은 전력만을 제한하는 리미터가 사용된다. 또한, 리미터는 시스템의 특성에 영향을 주는 침투 전력, 평균 전력 및 회복 시간(recovery time)을 고려하여 한 가지 이상의 형태를 사용한다^[3]. 공간, 무게 및 소모 전력이 한정된 유도 무기용 탐색기는 구조적으로 간단하며, 비교적 높은 전력(1 kW 미만의 평균 전력)과 빠른 회복 시간을 가지는 평판형 다이오드 리미터가 주로 사용된다.

평판형 다이오드 리미터는 입력 전력에 따라 임피던스가 변화하는 PIN 다이오드가 주로 사용되며, 수신기 앞단에 병렬로 PIN 다이오드를 연결하는 간단한 구조를 가진다. PIN 다이오드는 높은 입력 전력에서 PIN 다이오드가 낮은 임피던스로 동작하여 대부분의 전력을 반사하며, 낮은 입력 전력(표적 신호)에서는 높은 임피던스로 동작하여 대부분의 전력을 수신기로 전달하는 역할을 한다^{[4][5]}. 그러나 PIN 다이오드를 동작시키기 위해서는 턴-온 전력 이상의

전력이 인가되어야 하며, 충분한 감쇄량을 가지기 위해서는 더 높은 전력이 필요하다. 통상 수동 리미터는 10 dBm 전후에서 동작하고, 그 이상의 누설 전력이 수신기로 전달된다^[6]. 잡음 지수가 낮은 상용 Ka 대역 저잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)는 수 dBm 미만에서 최대 입력 전력을 가지므로 더 낮은 누설 전력을 가지는 수신기 보호 회로가 필요하다.

낮은 누설 전력을 가지기 위한 방법으로는 송신 신호와 동기가 이루어진 제어 회로로부터 PIN 다이오드를 제어하는 능동 다이오드 리미터 방법이 있다. 그러나 이와 같은 방법은 송신 신호와 정확한 동기 제어가 이루어져야 하며, 그렇지 않으면 치명적인 수신기 손상을 야기한다. 또한, 외부에서 들어오는 높은 전력에 대한 대응이 불가능한 단점을 가진다^[3].

본 논문에서는 안테나에 의해 반사되어 들어오는 송신 신호에 대한 낮은 누설 전력뿐 아니라 외부에서 들어오는 높은 전력에 대해서도 대응 가능한 능동 리미터를 설계하였다. 제안된 리미터 회로는 리미터 출력단에 방향성 결합기와 검출기를 이용하여 리미터 출력 전력을 검출하고, 이 검출된 신호를 증폭하여 다이오드 제어 전원으로 인가하는 방법이다. 또한, 증폭된 다이오드 제어 전원은 수동 리미터에 비해 다이오드의 임피던스를 줄이며, 이것은 리미터의 감쇄량을 증가시켜 낮은 누설 전력을 가지게 한다. 이와 같은 방법은 수동 리미터의 특성과 능동 리미터의 특성을 모두 가진다. 설계는 기존에 연구되었던 PIN 다이오드 대신호 모델을 이용하여 시뮬레이션하여 그 성능을 검증하였고, 제작 및 측정을 통해 밀리미터파 탐색기에 적용 가능한 성능을 가지는 것을 확인하였다.

II. Ka 밴드 리미터 설계

2-1 PIN 다이오드 리미터 특성

2-1-1 PIN 다이오드 모델

PIN 다이오드는 p-n 접합 사이에 전성 영역(Intrinsic-region)을 삽입한 형태의 다이오드 소자로 전성 영역에 유입되는 전자 및 전공의 양에 따라 저항 값이 변하는 가변 저항으로 동작한다^[7]. PIN 다이오드

그림 3. PIN 다이오드 대신호 모델

Fig. 3. The large signal model of a PIN diode.

의 응용 중 가변 감쇄기와 같이 PIN 다이오드에 인가되는 전류에 따라 PIN 다이오드의 저항 변화를 모델링하고, 감쇄량을 시뮬레이션하는 방법이 연구되었다^[8]. 그러나 이와 같은 방법은 RF 입력 전력이 문턱(turn-on) 전압 미만에서 입력시 유용한 방법이며, 리미터와 같이 문턱 전압 이상의 전압이 순시 적으로 변화하는 응용에서의 모델링으로 적합하지 않다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 연구로 PIN 다이오드의 대신호 모델이 연구되었고, 그 모델은 그림 3과 같다^[7]. 이것은 다이오드 양단의 전압에 따른 전류 특성을 구현한 $p-n$ 접합 다이오드(D_{P-N}), 다이오드에 흐르는 전류에 따라 변화하는 커패시터인 정바이어스 확산 커패시터 C_D 와 역 바이어스 공핍 영역 커패시터 C_J , 전류에 따라 저항 변화를 모델링한 다이오드 최대 저항 R_{max} 와 가변 저항 $R_F(I_F)$, 다이오드 제작시 생성되는 양단간 커패시터 C_R 와 접촉 저항 R_s 로 구성된다.

본 논문에서는 Microsemi사의 GC4731 PIN 다이오드^[9]를 사용하였고, 기존 연구에 사용된 ADS의 SDD (Symbolically Defined Devices)를 이용한 대신호 모델을 사용하여 시뮬레이션 하였다^[7].

2-1-2 1단 PIN 다이오드 리미터

일반적인 1단 PIN 다이오드 리미터는 그림 4와 같이 PIN 다이오드가 병렬로 연결되어진 2 포트 수동 회로이다. 리미터는 높은 전력이 입력되면 다이오드의 통과 시간(transit time)과 축적된 전하에 따라 DC 전류가 발생하며, 이 전류량에 따라 다이오드의 저항이 작아진다. 이때 리미터는 다이오드의 작아진 저항 값에 따라 입력 전력을 반사하여 감쇄된 출력

그림 4. 1단 리미터 구성도

Fig. 4. Block diagram of the 1 stage limiter.

그림 5. 입력 전력에 따른 리미터 누설 전력

Fig. 5. The leakage power of limiter for input power.

전력을 내보내게 된다. DC 차단용 커패시터와 RF 차단용 리액턴스는 높은 전력 입력 시 발생한 전류를 다이오드에만 흐르도록 하는 역할을 하며, 낮은 전력 입력 시 전력 손실 없이 리미터를 통과하도록 설계되어야 한다.

이와 같이 동작하는 PIN 다이오드 리미터의 입력 전력 대 출력 전력 그래프는 그림 5와 같다^[10]. 낮은 전력 입력 시 $R_F(I_F)$ 가 큰 저항 값을 가지므로 다이오드는 C_R 와 R_s 의 병렬 결합으로 모델링된다. 1단 리미터의 임피던스는 $R_s + 1/j\omega C_R$ 이며, 삽입 손실은 근사적으로 다음과 같다^[11].

$$IL = 20 \log \left(1 + \frac{Z_o}{2(R_s + 1/j\omega C_R)} \right) \quad (1)$$

여기서 Z_o 는 입출력 특성 임피던스이다. 식에서 알 수 있듯이 주파수 및 커패시터 값이 크면 삽입 손실도 커진다.

입력 전력이 증가함에 따라 PIN 다이오드의 정 전류는 증가하고 $R_F(I_F)$ 은 작아지며 입력 신호 감쇄가 증가하게 된다. 충분히 큰 입력 전력에서는 $R_F(I_F)$ 의 값이 매우 작아 C_R 의 임피던스 값을 무

시할 수 있고, 리미터에 의한 감쇄량은 다음과 같이 근사화 된다^[11].

$$Attenuation = 20 \log \left(1 + \frac{Z_o}{2(R_F(I_F) + R_S)} \right) \quad (2)$$

입력 전력이 증가하여 $R_F(I_F)$ 값이 0에 가까워지면, PIN 다이오드는 R_S 저항으로 보이고 감쇄량이 일정하게 되어 그림 5와 같이 일정한 기울기로 출력 전력이 증가하게 된다. 물론 매우 높은 입력 전력에서 다이오드가 수용할 수 있는 에너지와 열을 넘어서게 되면 다이오드는 손상되게 된다.

보통의 리미터용 PIN 다이오드는 1 Ω 이상의 최소 저항 값을 가지며, 이론적으로 1개의 PIN 다이오드가 약 28 dB 정도의 최대 감쇄량을 가지게 된다. 이 감쇄량은 수십 W 이하의 송신 전력을 가지는 시스템에서 조차 수신기를 보호하기에는 충분하지 않다. 그래서 보통의 PIN 다이오드 리미터는 2단 또는 그 이상의 단을 가지는 리미터를 사용하며, 각 단은 1/4 파장 길이의 Z_o 임피던스 전송선을 사용하여 연결한다^[5]. 그러나 이와 같은 구조의 리미터는 단수를 증가한 만큼 비례적으로 감쇄량이 증가하지 않고, 서론에서 언급한 것과 같이 다이오드 문턱 전압 때문에 최소 출력(약 10 dBm 내외)으로 포화된다.

2.2 낮은 누설 전력을 가지는 2단 능동 리미터 설계

수동 리미터보다 더 낮은 누설 전력을 가지기 위해서는 리미터 입력 전력에 의한 정 전류보다 더 큰 전류를 외부에서 인가하면 된다. 그림 6은 이와 같은 목적을 만족하기 위한 2단 능동 리미터 회로로, 리미터 출력 전력을 검출하고 증폭하여 PIN 다이오드에 공급되는 전압을 조절하는 폐환 회로로 구성된다. 최대 50 dB 정도의 감쇄량을 위해서 두 단의 PIN 다이오드를 1/4 파장 전송선로를 이용하여 연결한다. 리미터 출력에는 방향성 결합기를 이용하여 리미터 출력 전력의 일부를 RF 증폭기로 증폭하고, 검출기를 이용하여 RF 신호를 DC 신호로 검출한다. 이때 사용한 검출기는 UMS사의 CHE1270a로 입력 전력에 따라 기준 전압 V_{ref} 와 검출 전압 V_{det} 을 출력하는 차등 모드로 동작하게 된다. 연산증폭기 OP_1

그림 6. 2단 능동 리미터 구성도

Fig. 6. Block diagram of the 2 stage active limiter.

은 두 전압의 차를 증폭하며, 출력 전압은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$V_D = (V_{ref} - V_{det}) \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

OP_2 는 차등 증폭 전압 V_D 와 송신 신호 PRF (Pulse repetition frequency)에 동기되어진 게이트 전압 V_{gate} 를 합하고 증폭하는 역할을 한다. 이때 출력 전압은

$$V_t = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) (V_D + V_{gate}) \quad (4)$$

이며, V_D 및 V_{gate} 에 의해 PIN 다이오드에 공급하는 전압을 제어하여 리미터의 감쇄량을 조절할 수 있다.

이와 같은 리미터 구조는 검출기와 연산증폭기에 의한 폐환 루프와 게이트 제어 신호에 의한 제어 회로로 이루어진다. 폐환 루프는 리미터에 입력되는 전력에 따라 PIN 다이오드에 전류가 발생하고 저항 값이 낮아지며, 감쇄가 일어나는 수동 리미터와 같은 동작을 수행한다. 또한, 연산증폭기의 이득에 따라 일반적인 수동 리미터보다 더 낮은 누설 전력이 리미터 출력으로 전달된다. 이러한 수동 리미터 동작은 예상치 못한 외부의 전력이나 송신 신호와 잘못된 동기 제어로부터 수신기를 보호하기 위한 것으로 비상 운용을 대비한 기능이다. 이러한 운용은 외부에서 인가되는 폐환 회로의 빠른 응답 특성을 요구하며, 이를 위해서는 RF 증폭기 및 검출기의 응답 속도가 수십 ns로 짧아야 한다. 반면, 게이트 제어 신호에 의한 리미터 제어는 송신 신호의 PRF와 정확히

동기된 신호를 통해 리미터가 최대의 감쇄량을 가지도록 증폭하여 PIN 다이오드에 전원을 공급하는 능동 리미터 기능을 수행한다. 이와 같이 제안한 리미터 회로는 수동 리미터와 능동 리미터 기능에 동시에 수행하며 안전하게 수신기를 보호할 수 있다.

제환 회로에 사용한 저항 R_D 는 PIN 다이오드와 전류가 흐르는 것을 방지하기 위한 저항으로 연산증폭기의 최대 출력 전압과 PIN 다이오드의 전압대 전류 특성을 고려하여 결정한다. 여기서는 연산증폭기의 최대 출력 전압 4.5 V와 원하는 PIN 다이오드 동작점(전류 50 mA, 전압 1.0 V)을 고려하여 36 Ω 으로 결정하였다. 이것은 40 dBm 입력에서 -5 dBm의 리미터 출력으로 Ka 대역 저잡음 증폭기를 보호하기에 충분한 크기이다.

III. 2단 능동 리미터 제작 및 측정

그림 7은 제작된 능동 리미터 모듈이다. 능동 리미터 모듈 크기는 $27 \times 41 \times 17 \text{ mm}^3$ 이며, 제어 회로 모듈은 $100 \times 60 \times 10 \text{ mm}^3$ 이다. RF 기관의 경우 유전율은 2.2, 두께는 5 mil인 Rogers사의 duroid 5880 기판을 사용하였고, 제어 회로 기판은 4층 FR4를 사용하였다. RF 회로는 금 도금된 KOVAR 캐리어 위에 에폭시를 사용하여 MMIC를 조립하였고, PIN 다이오드는 두 가닥의 와이어 본딩을 이용하여 PCB 기판과 연결하였다. 모듈 하우징은 알루미늄을 사용하여 가공되었고, 니켈 도금으로 처리하였다. 그림 6에서 설명한 방향성 결합기는 ADS의 EM 시뮬레이션을 이용하여 5 mil의 duroid 5880 기판에서 20 dB의 결합도를 가지도록 설계하여 폭 0.39 mm, 길이 1.44 mm 및 간격 0.13 mm로 구현되어졌다. 이때 50 Ω 종단 포트는 TTelectronics사 TaNFilm 칩 저항을 사용하였고, 데이터 시트 상의 모델을 ADS 시뮬레이션에 반영하였다. 또한, 그림 6의 RF 증폭기는 20 dB 이상의 이득을 제공하기 위해서 Hittite사 HMC566을 사용하였고, 연산증폭기는 800 V/ μs 의 출력 전압 변화율을 가지는 Analog Devices사의 AD8062를 사용하였다.

제안된 리미터는 밀리미터파 수신기에 사용할 목적으로 개발되었고 수신기 내의 리미터 위치가 DC 블록이 필요 없어 제작된 능동 리미터는 DC 블록을

(a) 2단 수동 리미터
(a) The 2 stage passive limiter

(b) 능동 리미터 제어 회로
(b) The control circuits of active limiter

그림 7. 2단 능동 리미터 모듈 사진

Fig. 7. Photograph of the 2 stage active limiter module simulation.

조립하지 않았다. 다이오드에 DC 전류가 흐르는 대신 시험에서는 리미터 양단에 DC 블록 커넥터를 사용하여 측정하였다.

그림 8은 제작된 리미터의 삽입 손실을 측정된 결과이다. 밀리미터파 탐색기에 활용 시 커넥터를 제외한 평판형 리미터로 조립되므로 50 Ω 선로를 제작, 측정하고 커넥터 손실을 제거하여 리미터의 손실만을 계산하였다. 또한, 예상되었던 와이어 본딩의 리액턴스 값이 작아 전송선의 특성 임피던스 값이 작아지도록 리본을 이용하여 조정하였다. 회로망 분석기의 출력 전력을 리미터의 동작 전력보다 낮은 -20 dBm으로 조정하고 측정된 결과, 관심영역(그림 1의 Ka 대역 창)에서 커넥터를 포함한 리미터 손실은 4.9 dB 이하이며, 50 Ω 선로는 1.4 dB로 측정되었다. 따라서 커넥터를 제외한 리미터 손실은 3.5 dB로 예상할 수 있다.

그림 9는 중심 주파수에서 리미터 입력 전력 대

그림 8. 측정된 리미터 삽입 손실(커넥터 포함)

Fig. 8. The insertion loss of the limiter(including connectors).

출력 전력비를 측정된 결과이다. 입력 신호는 밀리미터파에서 높은 전력의 계측기가 없어 10 W급 SSPA 모듈을 사용하였고, 최대 36 dBm까지 측정이 가능하였다. 입력 신호 36 dBm에서 10 dBm까지는 다양한 고정 감쇄기를 이용하여 입력 전력을 변화시켰으며, 신호는 500 kHz PRF와 40 % duty ratio로 펄스 변조하였다. 출력 신호는 N1922A 신호 센서와 N1912A 첨두 전력 분석기를 이용하여 정상 상태의 전력을 측정하였다. 비교적 낮은 전력(10 dBm 미만) 신호는 신호 발생기를 이용하여 CW 신호를 입력하고, 스펙트럼 분석기를 이용하여 출력을 측정하였다.

리미터 특성을 비교하기 위해서 궤환 회로에 의한 능동 리미터 출력과 게이트 전원으로 제어된 리미터 출력을 측정하고, 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 능동 리미터의 경우 -5 dBm 이상에서 리미터의 감쇄량이 증가하기 시작하였고 매우 높은 감쇄량을 보인 것을 확인할 수 있었다. 또한, 게이트 전원에 의한 최대 감쇄량은 46 dB로 확인되었다. 최대 입력 전력(약 45 dBm)에 대한 리미터 동작은 신호원의 부재로 확인하지 못했지만, 최대 감쇄량으로 예상되는 누설 전력은 약 0 dBm 미만이다. 시뮬레이션 결과와 비교하면 삽입 손실이 웨이퍼 본딩 및 전송선 단락면의 기생 커패시터의 영향으로 다소 높게 나왔으며, 감쇄량이나 리미터 동작 특성은 같은 결과를 얻었다. 또한, 46 dBm 이상의 입력 전력에 대해서는 그림 5에서 보인 것과 같이 입력 전력의 변화량에

그림 9. 2단 능동 리미터의 누설 전력 비교

Fig. 9. The comparison of the leakage power for 2 stage active limiter.

따라 누설 전력이 증가하는 최대 감쇄 구간의 동작 특성을 보이게 될 것이다.

게이트 전원에 따른 리미터의 입력/출력 파형을 시간 영역에서 측정하기 위한 구성 및 결과를 그림 10에 보였다. 측정은 Herotek사의 DT1840 검파기와 오실로스코프를 이용하였다. 리미터 입력 파형은 그림 10(a)와 같이 SSPA의 출력 신호를 전력 분배기로 분배하고, 2개의 고정 감쇄기를 이용하여 감쇄한 신호를 검파기를 이용하여 측정하였으며, 리미터 출력 파형은 분배된 신호를 격리기(Isolator), DC 블록 및 리미터 통과 후 측정하였다. 측정 시 사용한 고정 감쇄기, 격리기 및 DC 블록은 회로 분석기를 이용하여 측정하고 보상 값으로 활용하였다. 그림 10(b)의 오실로스코프 측정 결과를 보면 입력 파형은 -126 mV(-7.3 dBm)가 측정되었고, 출력 파형은 -9 mV(-17 dBm)가 측정되었다. 측정되어진 고정 감쇄기, 격리기 및 DC 블록을 보상하면 리미터 입력은 30 dBm, 출력은 -16.7 dBm이며, 감쇄량은 약 46.7 dB이다. 따라서 첨두 전력 분석기에서 측정된 리미터 출력 전력(그림 9)과 유사한 결과임을 알 수 있다.

시험에 사용된 10 W급 SSPA의 성능이 그림 10(b)에서 보듯이 상승 시간이 200 ns 정도로 길어 Ka 대역 리미터의 과도 상태인 첨두 전력을 확인하기 어려웠다. 참고문헌 [7]에서 언급한 것과 같이 약 100번의 RF 주기 후에는 리미터가 정상 상태에서 동작하기 때문에 약 3 ns 이하의 상승 시간을 가지는

(b) 리미터 입출력 측정 결과
(b) The measurement results of the limiter input and output

그림 10. 검파기를 이용한 누설 전력 측정 결과
Fig. 10. The measurement results of leakage power with the detector.

출력 신호원과 1 ns급 반응 속도를 가지는 검파기를 이용하면 침투 전력을 측정할 수 있다.

개발된 Ka 대역 능동 리미터를 밀리미터파 탐색기에 적용한 저잡음 증폭 모듈은 그림 11 (a)과 같다. 저잡음 증폭 모듈은 안테나로부터 도파관을 통해 들어온 신호를 마이크로스트립 라인으로 모드 변환하기 위한 밀리미터파 트랜지션, Ka 능동 리미터, 저잡음 증폭기를 포함한 증폭부 및 대역 통과 여파기로 그림 11 (b)와 같이 구성되어진다. 측정 결과는 밀리미터파 대역에서 1 GHz 대역을 가지며, 잡은 지수는 6.3 dB 이하, 이득은 17~21 dB이다. 또한, 탐색기 송수신 타이밍과 동기 되어진 게이트 신호를 이용하여 리미터 및 2단 저잡음 증폭기를 동시에 제어한 결과 약 83 dB의 송신 신호 억압을 보였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 PIN 다이오드를 사용한 낮은 누설 전력을 가지는 Ka 대역 능동 리미터의 설계, 제작

(a) The low noise amplifier module of millimeter wave receiver

(b) The low noise amplifier module block diagram of millimeter wave receiver

(c) 잡음 지수 및 이득 측정 결과
(c) The measurement results of noise figure and gain

그림 11. Ka 대역 능동 리미터를 이용한 밀리미터파 수신기 응용

Fig. 11. Application of millimeter wave receiver with Ka band active limiter.

및 측정 방법을 설명하였고, 실험 결과를 통해 그 방법의 유용성을 입증하였다.

총래의 연구 결과들을 보면 수동 리미터의 경우, 매우 간단한 구조이나 누설 전력이 10 dBm 이상으로 Ka 대역 수신기를 보호하기에 한계를 보인다. 반면, 본 논문에서 제시한 방법은 출력 전력을 검출하고 증폭하여 PIN 다이오드의 전압을 제어하는 방법으로 다소 복잡한 구조를 보이나, PIN 다이오드 전압의 증폭량을 조절하여 0 dBm 이하의 낮은 누설 전력을 수신기로 전달하여 안전한 수신기 보호가 가

능하게 된다. 이와 같은 방법은 송신 신호와 동기되어진 게이트 전압에 의해 46 dB 이상의 감쇄량을 가지며, 예상지 못한 외부의 높은 전력 입력시 입력 전력에 비례하는 감쇄량을 보여 0 dBm 이하의 누설 전력을 유지하는 우수한 특성을 측정을 통해 확인하였다.

또한 제안된 능동 리미터를 본 논문의 응용 분야인 밀리미터파 탐색기용 Ka 대역 수신기에 적용하고 제작 측정한 결과를 보여 밀리미터파 탐색기에 적용 가능함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 공덕규, 김소수, 이응철, 유영준, "밀리미터파 소형 레이더의 송수신 성능에 관한 연구", 한국군사과학기술학회 2009년 종합학술대회, pp. 1133-1136, 2009년.
- [2] 김탁영, 양승식, 염경환, 공덕규, 김소수, "PIN 다이오드를 사용한 Ku 대역 평판형 리미터의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 17(4), pp. 368-379, 2006년 4월.
- [3] R. F. Bilotta, "Receiver protectors: a technology update", *Microwave Journal*, vol. 40, no. 8, Aug. 1997.
- [4] S. S. Yang, T. Y. Kim, D. K. Kong, S. S. Kim, and K. W. Yeom, "A novel analysis of a Ku-band planar p-i-n diode limiter", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 57, no. 6, pp. 1447-1460, Jun. 2009.
- [5] J. F. White, *Microwave Semiconductor Engineering*, New York: Van Nostrand, pp. 245-313, 1982.
- [6] Rick Cory, "PIN-limiter diodes effectively protect receivers", *Skyworks Solutions Inc. EDN*, pp. 59-64, Dec. 2004. Available: <http://www.edm.com>
- [7] 양승식, 염경환, "측정을 통한 PIN 다이오드 대신 호 모델 구축 기법", 한국전자과학회논문지, 20(1), pp. 12-20, 2009년 1월.
- [8] 장병준, 염인복, 이성팔, "전압제어형 PIN 다이오드 감쇄기 설계를 위한 새로운 PIN 다이오드 모델", 한국전자과학회논문지, 14(2), pp. 127-132, 2003년 2월.
- [9] GC4701-GC4750, Microsemi Corp., Available: <http://www.microsemi.com>
- [10] A. L. Ward, R. J. Tan, and R. Kaul, "Spike leakage of thin Si PIN limiter", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 42, no. 10, pp. 1879-1885, Oct. 1994.
- [11] Applications of PIN diode, Agilent Technologies, Application Note 922, Available: <http://www.agilent.com>

양 승 식

2003년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2005년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 2009년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
 2009년 8월~현재: 삼성탈레스(주) 레이더연구소 전문연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, 레이더 시스템

임 주 현

2005년 2월: 충남대학교 전기전자전파공학화 (공학사)
 2007년 2월: 충남대학교 전파공학과(공학석사)
 2006년 12월~현재: 삼성탈레스(주) 레이더연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 시스템 및 송수신기

나 영 진

1989년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)

1991년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)

1991년 5월~2001년 7월: LG이노텍 연구소 선임연구원

2001년 8월~현재: 삼성탈레스(주)

레이더연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더(탐색기) 시스템 및 초고주파 회로 설계